

*Розв'язується задача розробки критерія оцінювання ефективності використання хмарного застосунку, що дає змогу розрахувати ефективність застосування інформаційної технології масштабування хмарного застосунку. Розрахунок проводиться на основі використання даних про завантаженість хмарного застосунку та вартість утримання його інфраструктури. На основі розробленого критерія проведено порівняння роботи технології масштабування хмарного застосунку з аналогічною розробкою CloudMonix*

*Ключові слова: хмарні обчислення, ефективність роботи хмарного застосунку, масштабування хмарного застосунку*

*Решается задача разработки критерия оценивания эффективности использования облачного приложения, что позволяет оценить эффективность применения информационной технологии масштабирования облачного приложения. Оценка проводится на основе использования данных о загрузженности облачного приложения и стоимость содержания его инфраструктуры. На основе разработанного критерия проведено сравнение работы технологии масштабирования облачного приложения с системой CloudMonix*

*Ключевые слова: облачные вычисления, эффективность работы облачного приложения, масштабирование облачного приложения*

УДК 519.7.007.004.9

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.50950

# РОЗРОБКА КРИТЕРІЯ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ХМАРНОГО ЗАСТОСУНКУ

Т. О. Савчук

Кандидат технічних наук, професор\*

E-mail: savchtam@gmail.com

А. В. Козачук

Асистент\*

E-mail: kozachuk35@rambler.ru

\*Кафедра комп'ютерних наук

Вінницький національний

технічний університет

Хмельницьке шосе, 95,

м. Вінниця, Україна, 21021

## 1. Вступ

Використання хмарних обчислень дозволяє значно полегшити підтримку інфраструктури, збільшити швидкість розгортання застосунку, а також адаптуватися під змінний режим навантаження з періодичними піками. Остання задача вирішується шляхом масштабування хмарного застосунку, що дозволяє змінювати обсяг виділених обчислювальних потужностей в залежності від інтенсивності використання хмарного застосунку. Для вибору оптимальної стратегії масштабування хмарного застосунку необхідно забезпечити можливість порівняння різних стратегій масштабування. Таке порівняння може бути здійснене шляхом розрахунку значення критерія оцінювання ефективності використання хмарного застосунку, який комбінує кількість витрачених в одиницю часу матеріальних та репутаційних ресурсів.

Існуючі підходи до оцінювання ефективності роботи хмарного застосунку базуються на використанні одиничних метрик, не надаючи можливість одночасно розглянути ефективність з економічної та репутаційної точок зору, тому актуальною є задача розробки критерію оцінювання ефективності роботи хмарного застосунку, що враховує значення різномірних метрик роботи хмарного застосунку.

## 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Розглянемо існуючі підходи до оцінювання ефективності роботи хмарних застосунків.

Компанія Google надає можливість визначення ефективності функціонування хмарних застосунків, що розміщуються у Google App Engine [1] на основі таких критеріїв, як середня завантаженість процесора та кількість мережеских запитів до однієї віртуальної машини в секунду [2].

В роботі [3] розглядається питання ефективності функціонування навчальних застосунків у хмарних хостингах. Для оцінювання ефективності вводиться ряд метрик, таких як доступність хмарного застосунку, безпечність збереження даних, корисний ефект від роботи хмарного застосунку. Життєвий цикл хмарного застосунку пропонується розбивати на фази та застосовувати для кожної з них специфічний набір метрик з метою отримання агрегованої оцінки ефективності.

Автори роботи [4] показують необхідність введення системного підходу визначення вартості утримання хмарного застосунку та порівняння додаткових можливостей, які відкриваються при використанні конкретних хостингів, що було реалізоване у методиці порівняння хмарних хостингів з метою надання допомоги при прийнятті рішень щодо вибору хмарного хостингу.

У роботі [5] розглядається можливість використання класичного оцінювання економічної ефективності ІТ-проектів для хмарних ІТ-сервісів. В результаті дослідження автор робить висновок про необхідність комбінування фінансових та якісних методів оцінки ефективності та про нестачу статистичної інформації про роботу хмарних сервісів.

В роботі [6] проводиться розрахунок ефективності застосування хмарних платформ у порівнянні з використанням власного центру обробки даних (ЦОД). Використання хмарної інфраструктури визнається доцільним при істинності нерівності (1).

$$T_{r_{обл}} - T_{c_{обл}} \geq T_{r_{ЦОД}} - \frac{60T_{c_{треб.ЦОД}}}{U_{ср}}, \quad (1)$$

де  $U_{ср}$  – середня завантаженість ЦОД у відсотках,  $T_{c_{треб.ЦОД}}$  – видатки на утримання власного ЦОД,  $T_{r_{ЦОД}}$  – дохід із використанням власного ЦОД,  $T_{c_{обл}}$  – видатки на використання хмарної інфраструктури,  $T_{r_{обл}}$  – дохід з використанням хмарної інфраструктури, 60 – оптимальна завантаженість ЦОД у відсотках.

Дане співвідношення може бути використано для порівняння двох варіантів хмарного хостинга, якщо замінити розрахунки економічних показників для ЦОД на розрахунки для альтернативного варіанту хмарного хостинга. Недоліком такого підходу є складність оцінки доходів при ще не впроваджених методах хостингу та ризику нестабільної роботи хмарного застосунку при впровадженні альтернативних методів хостинга з метою оцінки їх ефективності.

Автори роботи [7] також порівнюють ефективність використання хмарних обчислень з використанням власної інфраструктури на основі економічних показників, таких як вартість ліцензій на програмне забезпечення та утримання апаратного забезпечення. Даний підхід також може бути використано для порівняння хмарних хостингів, але при цьому можуть виникнути складнощі у виборі конфігурації хмарної інфраструктури, що використовується у порівнянні.

Аналіз існуючих рішень показав, що при порівнянні ефективності використання інформаційних технологій масштабування традиційно використовуються такі метрики як вартість утримання інфраструктури, завантаженість процесора, час виконання мережевого запиту та частка мережевих запитів, що не були опрацьовані [8]. Проте використання перерахованих метрик не дозволяє безпосередньо побудувати критерій оцінювання ефективності, що визначається на комбінації швидкодії роботи хмарного застосунку та вартості утримання інфраструктури на хмарній платформі. Тому доцільною є задача отримання співвідношення, яке дозволяє оцінити економічний ефект зміни швидкодії роботи хмарного застосунку з метою побудови критерію ефективності роботи хмарного застосунку.

### 3. Мета та задачі дослідження

Метою дослідження є розробка критерія оцінювання ефективності роботи хмарного застосунку, який дозволяє проводити порівняння технологій масштабування хмарних застосунків на основі інформації різномірних метрик їх використання.

Нехай  $P_{втрат}$  – вартість втрати одного користувача,  $P_{інфр}$  – вартість утримання інфраструктури хмарного застосунку,  $n$  – кількість користувачів хмарного застосунку.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні завдання:

– отримати функцію ефективності функціонування хмарного застосунку від перерахованих параметрів  $E=E(P_{втрат}, P_{інфр}, n)$ ;

– провести порівняльний аналіз ефективності функціонування хмарних застосунків із використанням розробленої інформаційної технології масштабування та з використанням існуючих аналогів.

### 4. Розробка критерія оцінювання ефективності функціонування хмарного застосунку

Ефективність функціонування інформаційної технології масштабування хмарного застосунку визначається властивістю системи виконувати поставлену мету в заданих умовах використання і з певною якістю [9].

Ефективність функціонування інформаційної технології масштабування хмарного застосунку є інтегральною характеристикою, що визначається комбінацією таких характеристик як:

– технічна ефективність – технічна досконалість інформаційної технології масштабування хмарного застосунку;

– економічна ефективність – характеризує доцільність витрат на створення і впровадження інформаційної технології;

– прагматична ефективність – ступінь реалізації інформаційною технологією свого призначення;

– технологічна ефективність – ступінь простоти і технологічності розробки інформаційної технології масштабування хмарного застосунку;

– експлуатаційна ефективність – зручність використання і обслуговування інформаційної технології масштабування хмарного застосунку [10].

Якість функціонування інформаційної технології масштабування хмарного застосунку визначається сукупністю таких характеристик експлуатації інформаційної технології як надійність (здатність системи зберігати функціонування при встановлених умовах за встановлений період часу [11]), достовірність (рівень безпомилковості обчислень, що здійснюються інформаційною технологією [12]), практичність (об'єм робіт, необхідний для використання інформаційної технології), безпека (рівень забезпечення конфіденційності та цілісності інформації, що обробляється інформаційною технологією, ступінь захисту інформації від несанкціонованого доступу [13, 14]).

Розглянемо комбінований критерій оцінювання ефективності, побудований на основі економічної та технічної ефективності. Під технічною ефективністю будемо розуміти мінімізацію кількості користувачів  $k$ , які перестають користуватися хмарним застосунком в одиницю часу через технічні причини. Під економічною ефективністю будемо розуміти вартість утримання інфраструктури хмарного застосунку  $P_{інфр}$ . Виразимо технічну ефективність через економічний показник вартості втрати користувачів хмарного застосунку  $k \cdot P_{втрат}$ , де  $P_{втрат}$  – вартість втрати одного користувача. Це дасть можливість співставляти показники економічної та технічної ефективності в одному виразі

$$E_{інт} = P_{інфр} + k \cdot P_{втрат}, \quad (2)$$

де  $E_{\text{інт}}$  – значення комбінованого критерію ефективності роботи хмарного застосунку, інтегроване протягом певного часу.

Описаний критерій оцінювання ефективності роботи хмарного застосунку передбачає оцінювання протягом певного періоду часу. Позначимо початок періоду оцінювання за  $t_0$ , кінець періоду оцінювання за  $t_{\text{кінц}}$ . Враховуючи той факт, що мінімальна одиниця дискретизації часу при прогнозуванні роботи хмарного застосунку – 1 хв, прийmemo цю величину за одиницю дискретизації при оцінюванні ефективності роботи хмарного застосунку. Для того, щоб порівнювати ефективність протягом періодів різної тривалості введемо величину, що відображає витрати в одиницю часу  $E$ ,

$$E = \frac{E_{\text{інт}}}{t_{\text{кінц}} - t_0 + 1} \tag{3}$$

Вартість утримання інфраструктури хмарного застосунку обчислюється  $P_{\text{інфр}}$  як сума щохвилинної вартості утримання у проміжку часу  $[t_0; t_{\text{кінц}}]$ . Кількість втрачених користувачів обчислюється як

$$k = \sum_{t=t_0}^{t_{\text{кінц}}} v_t q(t), \tag{4}$$

де  $v_t$  – кількість користувачів хмарного застосунку в період часу  $(t; t+1)$ ,  $q(t)$  – імовірність того, що користувач перестав користуватися хмарним застосунком в період часу  $(t; t+1)$ . Вважатимемо користувача втраченим в проміжку часу  $(t; t+1)$  якщо хоч один його запит виконувався занадто довго або завершився з помилкою:

$$q(t) = 1 - (1 - q_{\text{втрат}}(t))^{\text{rqst}}, \tag{5}$$

де  $q_{\text{втрат}}(t)$  – імовірність того, що користувач не дочекається виконання запиту в проміжку часу  $(t; t+1)$ ,  $\text{rqst}$  – середня кількість запитів від одного користувача. Приймемо тривалість виконання запитів що завершилися помилкою за нескінченність, тоді користувачі, які отримали помилки будуть втрачені з імовірністю  $q=1$ .

Для визначення імовірності втрати користувача  $q_{\text{втрат}}$  використаємо функцію розподілу імовірностей, що представляє залежність імовірності втрати користувача від часу виконання мережевого запиту  $F(\tau)$  – імовірність втрати користувача зростає разом з часом очікування відповіді від хмарного застосунку. Дослідження [14–17] показують, що кількість користувачів веб-сторінок починає зменшуватись при  $\tau > 2$  с. Портал Pear1 hosting [14] при цьому наводить функцію розподілу імовірності втрати користувача, що показана на рис. 1.

Для визначення імовірності  $q_{\text{втрат}}(t)$  використовується функція розподілу імовірностей  $F(\tau)$ , де  $\tau$  – середній час виконання мережевого запиту у проміжку часу  $[t_0; t_{\text{кінц}}]$ . Остаточне співвідношення, що представляє критерій оцінювання ефективності функціонування хмарного застосунку, має вигляд:

$$E = \frac{P_{\text{інф}} + P_{\text{втрат}} \cdot \sum_{t=t_0}^{t_{\text{кінц}}} v_t q(1 - (1 - q_{\text{втрат}}(t))^{\text{rqst}})}{t_{\text{кінц}} - t_0 + 1} \tag{6}$$

Таким чином, за допомогою отриманого критерію можна проводити оцінювання ефективності функціонування хмарного застосунку при використанні різних стратегій масштабування та порівнювати доцільність використання технологій масштабування.

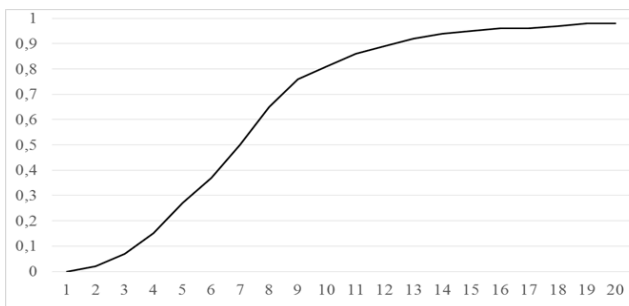


Рис. 1. Імовірність втрати користувача в залежності від часу запиту

### 5. Оцінювання ефективності інформаційної технології масштабування хмарного застосунку

За допомогою симулятора роботи хмарного застосунку було проведено визначення ефективності роботи технології масштабування хмарного застосунку в умовах інтенсивних пікових навантажень та в умовах штатної роботи з періодичними піковими навантаженнями. Також була визначена ефективність масштабування за допомогою реактивних правил. Визначення ефективності проводилося шляхом розрахунку значення критерія оцінювання ефективності функціонування хмарного застосунку, що відповідає сумарним витратам від втрат користувачів через занадто довге виконання запитів та затрат на підтримку інфраструктури хмарного застосунку. Для побудови профілів тестів навантаження використовувались дані відвідуваності сайту чемпіонату світу з футболу [18].

Порівняння ефективності функціонування хмарного застосунку із використанням різних технологій масштабування зображено на рис. 2.

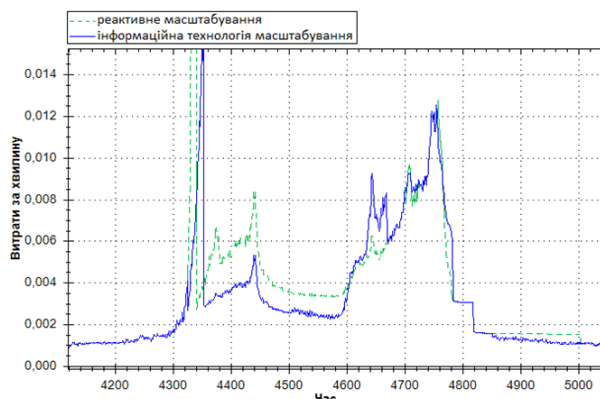


Рис. 2. Порівняння вартості утримання хмарного застосунку під час інтенсивних піків навантаження

Стратегія реактивного масштабування включала в себе такі правила:

- збільшення кількості віртуальних машин на 1, якщо завантаження ЦП більше 75 %;
- зменшення кількості віртуальних машин на 1, якщо завантаження ЦП менше 10 %;
- збільшення кількості віртуальних машин на 1, якщо завантаження пам'яті більше 90 %;
- збільшення розміру віртуальної машини на 1, якщо час виконання запиту більший за 5 с;
- збільшення розміру віртуальної машини на 1, якщо завантаження ЦП більше 70 %;
- зменшення розміру віртуальної машини на 1, якщо завантаження ЦП менше 15 %.

Правила створювалися з врахуванням того, що завантаження процесора є головним фактором сповільнення обробки мережових запитів. Налаштування інформаційної технології масштабування хмарного застосунку включали в себе цей же набір правил реактивного масштабування, а також передбачали вартість втрати одного користувача рівною \$ 0,00027 (недоотриманий дохід від показу реклами Google AdSense [21]), кількість елементів часового ряду мережових запитів, що використовується для прогнозування – 125, крок часового ряду мережових запитів – 1 хв, горизонт прогнозування – 15 хв (вибраний як максимальне значення часу операції масштабування), мінімальний час між операціями масштабування – 25 хв. Початковий стан інфраструктури хмарного застосунку складав одну малу віртуальну машину.

Для тесту, що відтворює штатні умови з періодичними піками навантаження сумарне значення критерію оцінювання ефективності склало 13,6 (0,00125 за хв.) для реактивного масштабування та 12,51 (0,00118 за хв.) для інформаційної технології масштабування хмарного застосунку.

Для тесту, що відтворює інтенсивні пікові навантаження, сумарне значення критерію оцінювання ефективності склало 3,12 (0,0044 за хв.) для реактивного масштабування та 2,75 (0,0039 за хв.) для інформаційної технології масштабування хмарного застосунку.

Дослідимо результати застосування інформаційної системи автоматизованого масштабування хмарного застосунку у ТОВ «СДМ Україна» для масштабування системи проведення мозкових штурмів BrainTank [19] за допомогою обчислення значення критерію оцінювання ефективності роботи хмарного застосунку. В рамках дослідження було проведено порівняння роботи запропонованої інформаційної системи з системою автоматизації CloudMonix [20], яка підтримує автоматичне масштабування хмарних застосунків. Для збільшення контролю над умовами проведення експерименту, порівняння систем масштабування здійснювалось на основі тестів навантаження.

Під час проведення тестів були використані наступні налаштування інформаційної системи автоматизованого масштабування хмарного застосунку: вартість втрати одного користувача – \$ 0,0003 (недоотриманий дохід від показу реклами Google AdSense [21]), кількість елементів часового ряду мережових запитів, що використовується для прогнозування – 100, крок часового ряду мережових запитів – 1 хв, горизонт прогнозування – 15 хв (вибраний як максимальне значення часу операції масштабування), мінімальний час між операціями масштабування – 20 хв. Використаний наступний набір правил реактивного масштабування:

- збільшення кількості віртуальних машин на 1, якщо завантаження ЦП більше 80 %;
- зменшення кількості віртуальних машин на 1, якщо завантаження ЦП менше 10 %;
- збільшення кількості віртуальних машин на 1, якщо завантаження пам'яті більше 90 %;
- збільшення розміру віртуальної машини на 1, якщо завантаження ЦП більше 70 %;
- зменшення розміру віртуальної машини на 1, якщо завантаження ЦП менше 15 %.

Мінімальний період між масштабуваннями у системі CloudMonix був встановлений як 20 хв. Система здійснює масштабування на основі реактивних правил, що підтримують агреговане значення метрик, також замість завантаженості ЦП використовується метрика «Процесорний час», що дорівнює усередненій по всім ядрам кількості мілісекунд, протягом яких процесор виконував операції за останню хвилину. Також, CloudMonix не підтримує зміну розміру віртуальної машини, масштабування можливе лише шляхом зміни кількості віртуальних машин. Враховуючи дані особливості, правила реактивного масштабування були модифіковані при застосуванні у системі CloudMonix та отримали такий вигляд:

- збільшення кількості віртуальних машин на 1 якщо процесорний час більший за 48000;
- зменшення кількості віртуальних машин на 1 якщо середній процесорний час за 5 хв менший за 8000;
- зменшення кількості віртуальних машин на 1 якщо процесорний час менший за 6000;
- збільшення кількості віртуальних машин на 1 якщо завантаження пам'яті більше 90 %.

З метою зменшення вимог до тестів навантаження в хмарний застосунок було додано код, що штучно сповільнює його роботу – таким чином знизилася вимога до кількості мережових запитів, що генеруються тестами навантаження.

Профіль тесту навантаження було отримано на основі даних завантаженості сервера при проведенні сесії мозкового штурму за участі 95 користувачів, тривалість тесту – 319 хв. Щохвилинна кількість мережових запитів тесту навантаження зображена на рис. 3, а, порівняння ефективності роботи технологій масштабування зображено на рис. 3, б.

Порівняння значення критерію оцінювання ефективності показує, що використання розробленої інформаційної технології масштабування хмарного застосунку дозволяє збільшити ефективність роботи на 10,55 % у порівнянні з використанням технології CloudMonix (табл. 1).

Таблиця 1

Порівняння ефективності використання розробленої ІТ та системи CloudMonix

Величина, що вимірюється	Значення
Значення критерію оцінювання ефективності застосування розробленої інформаційної технології	1,1318
Значення критерію оцінювання ефективності застосування системи CloudMonix	1,2513
Абсолютне значення зміни критерія оцінювання ефективності при застосуванні розробленої інформаційної технології	0,1195
Відносне значення зміни ефективності при застосуванні розробленої інформаційної технології	10,55 %

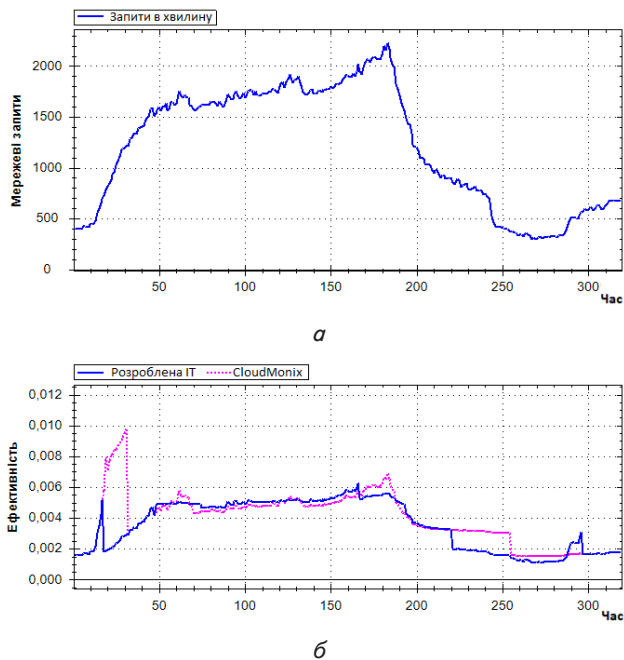


Рис. 3. Результати проведення тесту навантаження: а – профіль тесту навантаження; б – порівняння ефективності розробленої інформаційної технології з системою CloudMonix

Визначимо рівень значущості різниці ефективності використання розробленої інформаційної технології та системи CloudMonix. Для цього висунемо нульову гіпотезу [22]  $H_0$ , яка стверджує, що різниця ефективності використання технологій  $X$  є випадковою величиною з математичним сподіванням рівним нулю:  $E(X)=0$  та альтернативну гіпотезу  $H_A$ , яка стверджує, що математичне сподівання величини  $X$  відрізняється від нуля.

$$\begin{aligned} H_0 : E(X) &= 0, \\ H_A : E(X) &\neq 0. \end{aligned} \tag{7}$$

Для визначення статистичної значущості використаємо t-критерій Стьюдента [23, 24]. Усього було проведено  $n=319$  вимірювань ефективності, тому кількість ступенів свободи  $df$  дорівнює  $n-1=318$ . Середнє значення величини  $X$ ,  $\bar{X} = -0,00037$ . Середньоквадратичне відхилення визначається наступним співвідношенням [17, 18]:

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (X_t - E(E))^2}{n-1}} = 0,001325. \tag{8}$$

Використовуючи отримані вище статистичні параметри, розрахуємо значення коефіцієнта Стьюдента:

$$t = \frac{|\bar{X} - E(X)|}{S_x / \sqrt{n}} = \frac{|-0,00037 - 0|}{0,001325 / \sqrt{319}} = 4,9844. \tag{9}$$

Отримане значення  $t$  перевищує критичне значення критерія Стьюдента для  $df=300$  і довірчої імовірно-

сті 0,999, яке становить 3,3233 [25]. Отже, нульова гіпотеза  $H_0$ , яка стверджує, що математичне сподівання різниці ефективності використання технологій масштабування рівне нулю, відхиляється і приймається альтернативна гіпотеза  $H_A$ . Різниця ефективності використання розробленої інформаційної технології та системи CloudMonix є статистично значимою із рівнем значущості  $\alpha < 0,001$ .

### 6. Обговорення результатів розробки критерія оцінювання ефективності роботи хмарного застосунку

В результаті проведених досліджень було розроблено критерій оцінювання ефективності функціонування хмарного застосунку, що дає змогу поєднати в єдину метрику економічні та репутаційні показники роботи хмарного застосунку. За допомогою розробленого критерія було проведено оцінювання ефективності роботи хмарного застосунку BrainTank для різних режимів автоматичного масштабування.

На відміну від існуючих підходів [3–7], розроблений критерій орієнтований на порівняння роботи хмарного застосунку при різних параметрах хмарної інфраструктури, а не на порівняння хмарного хостингу та утримання власного ЦОД. Ця особливість дає можливість використовувати конкретизовані метрики, розрахунок яких є суто технічною задачею та не потребує додаткових досліджень на відміну від абстрактних метрик існуючих підходів. Ще однією особливістю розробленого критерію є можливість оцінювати ефективність роботи хмарного застосунку на коротких інтервалах часу. В той же час, використання вартості утримання хмарної інфраструктури як основного параметру поєднує розроблений критерій та існуючі підходи до оцінки ефективності роботи хмарного застосунку.

Для того, щоб розроблений критерій можна було застосовувати без додаткових модифікацій хмарного застосунку, платформа, на якій він розгорнутий, повинна задовольняти певним вимогам, а саме надавати доступ до високочастотної (з інтервалом не більше 1 хвилини) телеметрії середнього часу виконання мережевих запитів та кількості користувачів. Така інформація є доступною лише в високорівневих PaaS (Platform as a service) платформах, що накладає обмеження на можливість застосування запропонованого критерію.

З наведених тверджень можна зробити висновок про те, що розроблений критерій є конкретизацією загальних критеріїв ефективності використання хмарних обчислень, представлених в роботах [3–7] для PaaS платформ, що використовує параметри, характерні тільки для останніх.

Розроблений критерій може бути використаний для порівняння ефективності роботи хмарного застосунку при різних налаштуваннях хостинга, наприклад можуть бути порівняні PaaS-платформи, що використовують HDD та SSD накопичувачі. В рамках проведених досліджень було порівняно технології масштабування хмарного застосунку, розміщеного у хмарі Microsoft Azure cloud services. На базі представленого критерія також можливе порівняння різних реалізацій хмарного застосунку між собою.

## 7. Висновки

1. Розроблено критерій оцінювання ефективності роботи хмарного застосунку на основі інформації про час виконання мережевого запиту, кількість користувачів та вартість утримання інфраструктури. Запропонований критерій дозволяє співставляти та комбінувати різномірні метрики роботи хмарного застосунку.

2. Показано, що ефективність роботи системи проведення мозкових штурмів BrainTank із використанням інформаційної технології масштабування хмарного застосунку більша на 10,5 % з довірчим інтервалом 0,999 у порівнянні з існуючими аналогами. Застосування інформаційної технології масштабування хмарного застосунку дозволило збільшити показники критерія оцінювання ефективності від 8 до 12 % на симуляторі, що відтворював навантаження на сайт чемпіонату світу з футболу.

## Література

1. Sanderson, D. Programming google app engine: build and run scalable web apps on google's infrastructure [Text] / D. Sanderson. – O'Reilly Media, Inc., 2009. – 538 с.
2. Scaling Based on CPU or Load Balancing Serving Capacity [Electronic resource]. – Google Cloud Platform. – Available at: <https://cloud.google.com/compute/docs/autoscaler/scaling-cpu-load-balancing>
3. Pocatilu, P. Measuring the efficiency of cloud computing for e-learning systems [Electronic resource] / P. Pocatilu, F. Alecu, M. Vetrici // WSEAS Transactions on Computers – 2010. – Vol. 9, Issue 1. – P. 42–51. – Available at: <http://wseas.us/e-library/transactions/computers/2010/89-159.pdf>
4. Klems, M. Do clouds compute? a framework for estimating the value of cloud computing. In Designing E-Business Systems [Text] / M. Klems, J. Nimis, S. Tai. – Lecture Notes in Business Information Processing, 2009 – P. 110–123. doi: 10.1007/978-3-642-01256-3\_10
5. Разумников, С. В. Анализ существующих методов оценки эффективности информационных технологий для облачных ИТ-сервисов [Электронный ресурс] / С. В. Разумников // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 3. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/pdf/2013/3/405.pdf>
6. Якушева, Н. А. Расчет экономической эффективности облачных вычислений [Электронный ресурс] / Н. А. Якушева // Инженерный журнал: наука и инновации: электронное научно-техническое издание. – 2012 – № (3), 3. – Режим доступа: <http://engjournal.ru/articles/124/124.pdf>
7. Яцько, О. М. Вплив хмарних технологій на розвиток малого та середнього бізнесу в Україні [Електронний ресурс] / О. М. Яцько, Ю. А. Літвінчук. – Буковинський державний фінансово-економічний університет. – Режим доступа: [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE\\_FILE\\_DOWNLOAD=1&Image\\_file\\_name=PDF/Nvbdfa\\_2014\\_26\\_57.pdf](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Nvbdfa_2014_26_57.pdf)
8. Lorido-Bostrán, T. Auto-scaling techniques for elastic applications in cloud environments [Text] / T. Lorido-Bostrán, J. Miguel-Alonso, J. A. Lozano // Department of Computer Architecture and Technology. – 2012. – Vol. 12.
9. Шеннон, Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука [Текст] / Р. Шеннон. – М.: Мир, 1978. – 418 с.
10. Емельянов Н. З. Основы построения автоматизированных информационных систем: Учебное пособие [Текст] / Н. З. Емельянов, Т. Л. Парыга, И. И. Попо. – М.: ФОРУМ:ИНФРА-М, 2007 – 416 с.
11. Буряк, В. В. Эффективность информационных систем: учеб. пособие для студентов специальностей «Экономическая кибернетика» и «Интеллектуальные системы принятия решений» [Текст] / В. В. Буряк, О. Л. Ольховская. – Краматорск: ДГМА, 2008. – 76 с.
12. Сарвин, А. А. Диагностика и надежность автоматизированных систем: Письменные лекции [Текст] / А. А. Сарвин, Л. И. Абакулина, О. А. Готшалк. – СПб.: СЗТУ, 2003. – 69 с.
13. Таунсенд, К. Проектирование и программная реализация экспертных систем на персональных ЭВМ [Текст] / К. Таунсенд, Д. Фохт. – М.: Финансы и статистика, 1990. – 320 с.
14. How a Slow Website Impacts Your Visitors and Sales [Electronic resource]. – Available at: <http://www.peer1.com/knowledgebase/how-slow-website-impacts-your-visitors-and-sales>
15. Nah, F. F. H. A study on tolerable waiting time: how long are Web users willing to wait? [Text] / F. F. H. Nah // Behaviour & Information Technology. – 2004 – Vol. 23, Issue 3. – P. 153–163.
16. How Loading Time Affects Your Bottom Line [Electronic resource]. – Available at: <https://blog.kissmetrics.com/loading-time/>
17. Menasce, D. Load testing of web sites [Text] / D. Menasce // IEEE Internet Computing. – 2002. – Vol. 6, Issue 4. – P. 70–74. doi: 10.1109/mic.2002.1020328
18. 1998 World Cup Web Site Access Logs [Electronic resource]. – Available at: <http://ita.ee.lbl.gov/html/contrib/WorldCup.html>
19. Козачук, А. В. Система автоматизованого проведення мозкових штурмів "Braintank" [Текст] / А. В. Козачук // Збірник матеріалів дев'ятої міжнародної конференції «Інтернет-Освіта-Наука-2014». – Вінниця, 2014.
20. Система автоматизації хмарних ресурсів CloudMonix [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://cloudmonix.com/>
21. Mohan, M. How Much Traffic Do You Need To Make \$100,000 With Google AdSense [Electronic resource] / M. Mohan. – Available at: <http://www.minterest.org/how-much-traffic-do-you-need-to-make-money/>
22. Дубина, И. Н. Проверка статистических гипотез [Электронный ресурс] / И. Н. Дубина. – 2006. – Режим доступа: [http://www.ipiran.ru/frenkel/hypothesis\\_testing.pdf](http://www.ipiran.ru/frenkel/hypothesis_testing.pdf)

23. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика [Текст] / ГВ. Е. мурман. – М., Высш. шк., 2003. – 479 с.
24. Шаригін, О. А. Розробка підходу до перевірки адекватності моделі прийняття рішень з нечіткими параметрами [Текст] / О. А. Шаригін // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2012. – № 1(23). – С. 5–61.
25. Основы теории надежности и диагностика [Электронный ресурс]. – Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого. – Режим доступа: <http://www.novsu.ru/npe/files/um/1128/umk/OTND/index.htm>

*Досліджено складові частини інформаційних технологій для оцінки рівня енергоефективності муніципальних будівель. Модифіковано метод аналізу ієрархій на основі критеріїв та індикаторів: зроблено декомпозицію розв'язку задачі ранжування факторів в ієрархію, на її основі побудовано ієрархічну форму. Також розроблено багатощарова модель ранжування факторів оцінки енергоефективності та сформовано узгоджена матриця попарних порівнянь та глобальний критерій*

*Ключові слова: інформаційні технології, метод аналізу ієрархій, підтримка прийняття рішень, енергоефективність*

*Исследованы составные части информационных технологий для оценки уровня энергоэффективности муниципальных зданий. Модифицирован метод анализа иерархий на основе критериев и индикаторов: сделана декомпозиция решения задачи ранжирования факторов в иерархию, на ее основе построена иерархическая форма. Также разработана многослойная модель ранжирования факторов оценки энергоэффективности и сформирована согласованная матрица попарных сравнений и глобальный критерий*

*Ключевые слова: информационные технологии, метод анализа иерархий, поддержка принятия решений, энергоэффективность*

УДК 004.303.064

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.51027

## РОЗРОБКА МОДЕЛІ ТА МОДИФІКАЦІЯ МЕТОДУ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ ДЛЯ ОЦІНКИ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

Д. В. Маргасов

Аспірант\*

E-mail: mn123@i.ua

Е. Ю. Сахно

Доктор технічних наук,  
професор, завідувач кафедри\*

E-mail: kafUYAP@ukr.net

І. С. Скітер

Кандидат фізико-математичних наук, доцент  
Кафедра програмної інженеріїЧернігівський національний  
технологічний університет

вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, Україна, 14028

E-mail: skiteris@mail.ua

\*Кафедра управління якістю і проектами  
Чернігівський національний технологічний університет  
«Навчально-науковий інститут управління  
та адміністрування»  
вул. Белова, 4, м. Чернігів, Україна, 14034

### 1. Вступ

Системна трансформація українського суспільства та його інтеграція в європейський і світовий простір потребує відповідного наукового забезпечення процесу скасування старих і створення низки нових організаційних структур управління у різних сферах суспільного життя [1].

Актуальним зараз стає створення інформаційно-вимірювальних систем для підтримки прийняття рішень ОПР для оцінки енергоефективності муніципальних будівель на базі безліч факторів та індикаторів. В процесі аналізу факторів, які формують систему показників для оцінювання енергоефективності досліджуваних об'єктів та формування управлінських рішень на їх основі, ОПР (особа, що приймає рішення) нашої уваги не лише кінцевого результату прийнятого рішення, але й оцінювання альтернатив чи

ефективності проходження окремих етапів процесу прийняття рішень.

### 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Аналізуючи складові частини інформаційних технологій для оцінки рівня енергоефективності муніципальних будівель, слід зазначити, що в Україні ці питання висвітлюються у працях [2, 3] та інших. Питання інформаційних технологій в Україні висвітлюються в працях [4–9]. За кордоном питаннями інформаційних технологій відображені у працях [10, 11].

Необхідно розглядати об'єкт дослідження саме як систему факторів, в межах кожного з яких існує система індикаторів, які його визначають і, відповідно, формують якість та вагу відповідного фактору. Це означає, що система формуючих індикаторів також набуває актуальності не лише як показник оцінки альтерна-